

# DIEHL · GLAESER HITL & PARTNER

GESELLSCHAFT BÜRGERLICHEN RECHTS

Patentanwälte · Augustenstrasse 46 · D - 80333 München

Dr. Hermann O. Th. Diehl · Diplom-Physiker  
Joachim W. Glaeser · Diplom-Ingenieur\*  
Dr. Elmar Hiltl · Diplom-Chemiker  
Dr. Frank Schorr · Diplom-Physiker  
Dr. Christian Huber · Diplom-Chemiker  
In Kooperation mit Diehl & Partner AG  
CH - 7513 Silvaplana · Schweiz

Patentanwälte · European Patent Attorneys  
München · Hamburg\*

## DE 101 13 017 A1 Translation of the Abstract

A system for interferometric testing of optical distortions of an optical arrangement (5), in particular an optical arrangement for use in semiconductor lithography, comprises first testing components (1) arranged upstream of the optical arrangement to be tested. Downstream of the optical arrangement to be tested there is provided a second testing component (DOE2). The first testing components (1) generate a substantially spherical wave in 0<sup>th</sup> order, and a substantially aspherical wave in an order different from the 0<sup>th</sup> order. The second testing component comprises an optical element (DOE2) reflecting the incident rays such that the reflected rays coincide with the incident rays. The second testing component may be omitted if the optical arrangement has a mirror as a last surface. The mirror will then reflect the incident rays such that the reflected rays coincide with the incident rays, and thus performs the function of the second testing component.

Kanzlei · Office: München

Telefon · Telephone  
(089) 17 86 36-0

Telefax · Facsimile  
(089) 1 78 40 33  
(089) 1 78 40 34

E-mail/Internet  
info@diehl-patent.de  
www.diehl-patent.de

Anschrift · Address  
Augustenstrasse 46  
D - 80333 München

Postanschrift · Mailing address  
P.O. Box 34 01 15  
D - 80098 München



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 13 017 A 1**

⑥ Int. Cl. 7:  
**G 01 N 21/45**  
G 01 M 11/00  
G 01 B 9/02

⑳ Aktenzeichen: 101 13 017.1  
㉔ Anmeldetag: 17. 3. 2001  
㉕ Offenlegungstag: 26. 9. 2002

**DE 101 13 017 A 1**

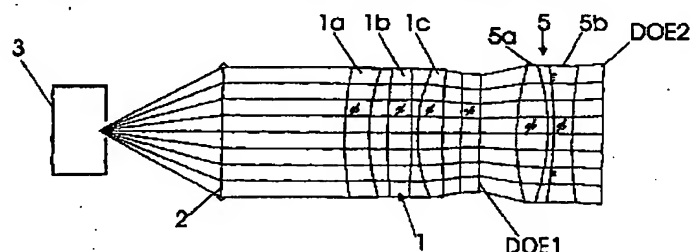
㉑ **Anmelder:**  
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE  
  
㉒ **Vertreter:**  
Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim

㉓ **Erfinder:**  
Freimann, Rolf, Dr., 73431 Aalen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

㉔ **System zur interferometrischen Messung von optisch wirksamen Fehlern von optischen Baugruppen**

㉕ Bei einem System zur interferometrischen Messung von optisch wirksamen Fehlern von optischen Baugruppen (5), insbesondere von Baugruppen in der Halbleiter-Lithographie, sind erste Prüfkomponenten (1) vorgesehen, die vor der zu prüfenden Baugruppe (5) angeordnet sind. Hinter der zu prüfenden Baugruppe (5) ist eine zweite Prüfkomponente (DOE2) angeordnet. Die ersten Prüfkomponenten (1) erzeugen in der nullten Beugungsordnung wenigstens annähernd eine Kugelwelle und in einer von der nullten Beugungsordnung abweichenden Ordnung eine wenigstens annähernd asphärische Welle. Die zweite Prüfkomponente weist ein optisches Element (DOE2) auf, das die auftreffenden Strahlen in sich selbst zurückreflektiert. Bei optischen Baugruppen (5) mit einem Spiegel als letzter Fläche kann vereinfachend auf die zweite Prüfkomponente verzichtet werden. Der Spiegel reflektiert dann die Strahlen in sich zurück und übernimmt die Funktion der zweiten Prüfkomponente.



**DE 101 13 017 A 1**

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zur interferometrischen Messung von optisch wirksamen Fehlern von optischen Baugruppen, insbesondere von Baugruppen in der Halbleiter-Lithographie.

[0002] Es ist aus der Praxis bekannt, optische Elemente, z. B. Einzellinsen, im doppelten Durchtritt interferometrisch zu prüfen. Dabei soll der Prüfstrahlengang durch die Linse wenigstens annähernd dem späteren Gebrauchsstrahlengang entsprechen. Nur in diesem Fall lassen sich gemessene Fehler im Linsenkörper, wie z. B. Brechungsindexinhomogenitäten, durch eine gezielte Oberflächenbearbeitung so kompensieren, daß sie beim späteren Gebrauch nur noch wenig oder gar nicht mehr stören.

[0003] Aus der Praxis ist es weiterhin bekannt, nach dem sogenannten Dreh-Mittelungsverfahren nicht-rotationssymmetrische Linsenfehler im doppelten Durchtritt absolut zu messen.

[0004] In der DE 100 05 172.3 ist ein System zur interferometrischen Messung von Asphären in Reflexion beschrieben, wobei in einer optischen Einrichtung eine gezielte Nicht-Isoplanasie des Strahlengangs derart vorgewählt wird, daß eine von einer Dejustage eines Prüflings erzeugte Koma in einer reflektierten Wellenfront wenigstens annähernd weitgehend kompensiert wird. Eine Prüfbarkeit von ganzen optischen Baugruppen mit asphärischen Flächen ist in dieser Anmeldung nicht vorgesehen.

[0005] Zum allgemeinen Stand der Technik wird noch auf die US-PS 5,074,666 und die US-PS 5,355,218 verwiesen.

[0006] Während nach den bekannten Verfahren nicht-rotationssymmetrische Prüflingsfehler absolut bestimmt werden können, macht die Messung von rotationssymmetrischen Fehlern Schwierigkeiten. Zur Messung von rotationssymmetrischen Fehlern ist es unter anderem erforderlich, den Prüfaufbau genau zu kennen, damit seine störenden Beiträge entsprechend berücksichtigt werden können. Insbesondere Meßgenauigkeiten bei den Radien von einzelnen sphärischen Flächen und bei den Brechungsindizes der Gläser führen dazu, daß rotationssymmetrische Aberrationen einer Kompensationsoptik nur ungenau bekannt sind. Eine weitere Fehlerquelle stellen Temperaturänderungen dar.

[0007] Eine Prüfung von sphärischen Linsen im Durchtritt ist gegebenenfalls noch mit entsprechendem Aufwand möglich. Bei einer Prüfung von optischen Elementen, wie z. B. Linsen mit einer oder sogar mit zwei asphärischen Flächen, wäre ein hoher Aufwand für die Prüfoptik erforderlich, wobei trotzdem die erreichbare Genauigkeit eingeschränkt wäre.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein System zur interferometrischen Prüfung von optischen Baugruppen zu schaffen, mit welchem mit einer hohen Meßgenauigkeit die Baugruppen im doppelten Durchtritt gemessen werden können, wobei das System auch für eine Einzellinsenprüfung, welche die kleinste Einheit einer Baugruppe darstellt, mit sphärischen oder auch asphärischen Oberflächen geeignet sein soll. Auch der Spezialfall von Baugruppen mit einer reflektierenden letzten Fläche (Spiegel am Ende) sollte prüfbar sein.

[0009] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die in Anspruch 1 und 8 genannten Merkmale gelöst.

[0010] Erfindungsgemäß besteht das Prüfsystem aus zwei Teilsystemen, einem vor der zur prüfenden Baugruppe angeordneten System mit ersten Prüfkomponten und einem hinter der zu prüfenden Baugruppe angeordneten zweiten System, nämlich einer zweiten Prüfkomponten. Lediglich bei Baugruppen mit reflektierender letzter Fläche, z. B. einem Spiegel, kann vereinfachend auf die zweite Prüfkomponten

nente verzichtet werden, da der Spiegel ihre Funktion übernimmt.

[0011] Das vordere Teilsystem, welches in einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung refraktive Elemente und ein erstes diffraktives optisches Strahlformungselement (DOE1) aufweist, erzeugt eine präzise bekannte asphärische Welle. Das DOE1 befindet sich dabei auf der der zu prüfenden Baugruppe zugewandten letzten Fläche.

[0012] Erfindungsgemäß sind die ersten Prüfkomponten, insbesondere refraktive Prüfkomponten, so ausgelegt, daß sie wenigstens näherungsweise eine Kugelwelle liefern mit der das DOE1 beleuchtet wird, wobei das DOE1 in der nullten Beugungsordnung ohne Wirkung bleibt. Die Summe der Restfehler der refraktiven Prüfkomponten und der Fehler der Referenzfläche lassen sich durch eine Kalibrierung, z. B. mit einem zuvor mit Standardmethoden absolut vermessenen Kugelspiegel, bestimmen. Das DOE1 ist so ausgelegt, daß in einer von Null verschiedenen Beugungsordnung, insbesondere der ersten Beugungsordnung, die am Eingang der zu prüfenden optischen Baugruppe erforderliche asphärische Wellenfront erzeugt wird. Wesentlich ist, daß allein das DOE1 diese asphärische Wellenfront aus der durch die ersten Prüfkomponten erzeugten Kugelwelle bildet. So gehen nur seine Aberrationen als nicht-kalibrierbare Meßfehler ein.

[0013] Die ersten Prüfkomponten (ohne das DOE), insbesondere die refraktiven Teile für das vordere Teilsystem, wird man im allgemeinen aplanatisch ausführen, um bei der Kalibriermessung Koma zu vermeiden.

[0014] Erfindungsgemäß werden somit zwei Wellen erzeugt, nämlich eine Kugelwelle und eine asphärische Welle, wobei die Erzeugung der Kugelwelle möglichst aplanatisch erfolgt. Die asphärische Welle wird aus der Kugelwelle allein durch das DOE1 gebildet.

[0015] Die zweite, hinter der zu prüfenden optischen Baugruppe angeordnete Prüfkomponten besteht aus einem in Autokollimation gestellten optischen Element, insbesondere einem zweiten diffraktiven optischen Strahlformungselement (DOE2). Anstelle eines DOE2 kann selbstverständlich im Bedarfsfall auch ein Plan- oder ein Kugelspiegel verwendet werden. Die Verwendung eines DOE2 hat den Vorteil, daß die Strahlumkehr nicht durch Reflexion, sondern durch Beugung erfolgt. Auf diese Weise müssen die Strahlen nicht überall senkrecht auf dem DOE2 stehen. Außerdem kann die Möglichkeit einer sehr genauen Strahlumkehr auch bei asphärischem Strahlenverlauf genutzt werden.

[0016] Eines der wesentlichsten Vorteile der Erfindung besteht darin, daß auf diese Weise die Prüfung von beliebig aufgebauten Baugruppen, wozu auch die Prüfung einer einzelnen Linse gehört, möglich ist, denn der Prüfstrahlengang kann beliebig asphärisch sein, sowohl vor als auch hinter der zu prüfenden Baugruppe. Dies bedeutet, daß der Prüfling kein abbildendes System zu sein braucht bzw. der Prüfstrahlengang muß nicht homozentrisch sein.

[0017] Durch die zweite, hinter der optischen Baugruppe angeordnete Prüfkomponten wird nun erreicht, daß die austretende Welle in sich zurückläuft. Da nun die Fehler der refraktiven ersten Prüfkomponten in der nullten Beugungsordnung des DOE1 durch eine Kalibrierung beseitigt worden sind und man neben denen des DOE1 auch die Fehler der zweiten Prüfkomponten, z. B. einem DOE2, sehr gering halten kann, bedeutet dies, daß Wellenaberrationen, die man dann im Interferometer mißt, nahezu ausschließlich von der zu prüfenden optischen Baugruppe stammen. Die Fehler von DOE1 und DOE2 können durch die Verwendung genauer Schreiber für Mikrostrukturen klein gehalten werden.

[0018] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen

ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen und aus dem nachfolgend anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispiel.

[0019] Es zeigt:

[0020] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung des erfindungsgemäßen Systems in Kalibrieranordnung; und

[0021] Fig. 2 das erfindungsgemäße System nach der Kalibrierung mit einer zu prüfenden optischen Baugruppe.

[0022] Das Prüfsystem besteht aus einem vorderen Teilsystem bzw. ersten Prüfkomponten 1 mit refraktiven Elementen, welche drei Linsen 1a, 1b und 1c aufweisen. Zusätzlich ist noch ein erstes diffraktives optisches Strahlformungselement DOE1 in den ersten Prüfkomponten integriert, welches in Strahlrichtung hinter den drei Linsen 1a, 1b und 1c liegt.

[0023] Ein vorgeschalteter Kollimator 2 macht aus dem, von einem Interferometer mit Referenzfläche 3, ausgesandten Strahlenbündel Parallelstrahlen. Die refraktiven Komponenten, nämlich die drei Linsen 1a, 1b, 1c, sind so ausgelegt, daß sie wenigstens annäherungsweise eine Kugelwelle liefern, wobei das DOE1 als weiteres optisches Element in der nullten Beugungsordnung ohne Wirkung bleibt.

[0024] Restfehler der refraktiven Komponenten und Fehler der Referenzfläche lassen sich durch eine Kalibrierung mit einem zuvor mit bekannten Standardmethoden absolut vermessenen Kugelspiegel 4 bestimmen (siehe Fig. 1).

[0025] Das DOE1 ist so ausgelegt, daß es in der ersten Beugungsordnung (bzw. allgemein in einer von Null verschiedenen Beugungsordnung) eine asphärische Wellenfront für eine in der Fig. 2 dargestellte optische Baugruppe 5 erzeugt. Die dargestellte optische Baugruppe besteht aus zwei Linsen 5a und 5b. Wenn das DOE1 ausreichend genau geschrieben ist, so wird die entstehende asphärische Welle sehr präzise bekannt sein. Alle Fehler der refraktiven Komponenten der ersten Prüfkomponten 1 sind durch die durchgeführte Kalibrierung erkannt worden, insbesondere auch solche, die durch inhomogene Temperaturverteilungen entstanden sind. Dies bedeutet, daß bei der Prüfmessung auftretende Fehler der optischen Baugruppe 5 präzise zugeordnet werden können.

[0026] Wenn das DOE1 als Phasen-DOE ausgeführt ist, so könnten räumliche Furchentiefen- oder Tastverhältnisschwankungen zu Restaberrationen in der nullten Beugungsordnung führen. Diese können jedoch im Durchtritt zuvor auf einem Standard-Planflächen-Prüfplatz absolut vermessen und damit aus dem Meßergebnis der zu prüfenden optischen Baugruppe eliminiert werden.

[0027] Ein Standard-Planflächenprüfplatz weist ein Interferometer mit Planwellenausgang und einen Planspiegel auf mit einem dazwischen liegenden Substrat. Bei diesem Meßverfahren soll geprüft werden, ob in der nullten Beugungsordnung eines DOE's irgendwelche Aberrationen auftreten. Hierzu erfolgen zwei Messungen, nämlich einmal mit dem Substrat ohne darauf aufgebrachtem DOE und eine zweite Messung mit einem auf das Substrat angeordneten DOE, welches somit z. B. dem DOE1 von Fig. 1 oder Fig. 2 entspricht. Die Differenz beider Meßergebnisse ergibt in Abolutmessung die Aberrationen. Dabei wird das Interferometer vor jeder Messung kalibriert, wenn beide Messungen zeitlich weit auseinander liegen. Da bei dieser DOE-Ausführungsform die nullte Beugungsordnung eine relativ geringe Intensität aufweist, kann es von Vorteil sein, den Kalibrierspiegel zur Erhöhung seiner Reflektivität zu verspiegeln.

[0028] Die Verwendung eines Phasen-DOE's hat den weiteren Vorteil, daß es einen höheren Beugungswirkungsgrad bringt.

[0029] Nach der Kalibrierung wird die zu prüfende optische Baugruppe 5 zwischen die ersten Prüfkomponten 1

und einem zweiten diffraktiven optischen Strahlformungselement DOE2, das an die Stelle des Kugelspiegels 4 in den Strahlengang gesetzt wird, eingebracht (siehe Fig. 2). Das DOE2 bildet damit ein optisches Bauteil, das die auftreffenden Strahlen in sich selbst zurück reflektiert. Bei der zu prüfenden Baugruppe 5 kann z. B. eine der Flächen als Asphäre ausgebildet sein. Im Unterschied zu dem Kugelspiegel 4 müssen bei dem DOE2 die Strahlen nicht unbedingt senkrecht auftreffen. Aufgrund der Wirkung des DOE2 laufen trotzdem die Strahlen in sich zurück, da die Strahlumkehr nicht durch Reflexion sondern durch Beugung erfolgt. Das DOE2 ist dabei so ausgelegt, daß der für die Prüfung der optischen Baugruppe 5 notwendige asphärische Strahlengang hinter der Baugruppe dargestellt wird.

[0030] Das DOE2 ist auf einer Planfläche dargestellt. Selbstverständlich ist es jedoch auch möglich, es auf nicht-planen, z. B. sphärischen oder asphärischen Flächen aufzubringen.

[0031] In vorteilhafter Weise wird man für die DOE's, insbesondere für das DOE2 Quarzglas, Zerodur oder ein ähnliches Substratmaterial verwenden, um temperaturbedingte Verformungen des DOE-Trägers zu vermeiden.

[0032] In vorteilhafter Weise wird man das DOE2 als Amplitude-DOE, z. B. in Form einer Chrommaske, ausführen. Ein Amplituden-DOE ist einfach herzustellen. Eine Ausführung als Chrommaske ist zum einen günstig, weil sie sich leichter herstellen läßt als ein Phasen-DOE und zum anderen, weil ihr Beugungswirkungsgrad bei Reflexion in der ersten Beugungsordnung bei vorteilhaften 10% liegt.

[0033] Wenn der Gebrauchsstrahlengang hinter der zu prüfenden optischen Baugruppe 5 nur schwach asphärisch ist, kann man gegebenenfalls auf das DOE2 verzichten und statt dessen zur Vereinfachung einen Plan- oder Kugelspiegel einsetzen. In diesem Fall wird der Prüfstrahlengang dem Gebrauchsstrahlengang ausreichend nabekommen.

[0034] Gemäß Fig. 2 wird eine zweikomponentige Baugruppe 5 mit den beiden Linsen 5a und 5b geprüft. Selbstverständlich ist jedoch auch die Prüfung einer Einzellinse oder auch von mehreren Linsen möglich. Ebenso kann die Baugruppe auch reflektierende Komponenten (Spiegel) enthalten. Im Falle der Prüfung einer Einzellinse kann das DOE2 vereinfachend durch einen zuvor absolut vermessenen Kugelspiegel ersetzt werden.

[0035] Beide DOE's können als in-line oder auch als off-axis DOE ausgebildet sein.

[0036] Da die beugende Wirkung beider DOE's stark von der Lichtwellenlänge abhängt, ist es sinnvoll, einen frequenzstabilisierten Laser 3 zu verwenden. Auch kann es vorteilhaft sein, den aktuellen Luftbrechungsindex zu messen, z. B. durch Verfolgung von Luftdruck und -temperatur, um die aktuelle Lichtwellenlänge möglichst genau zu kennen.

[0037] Ist die letzte Fläche der zu prüfenden Baugruppe 5 als Spiegel ausgeführt, so erübrigt sich die zweite Prüfkomponten, weil dann die Baugruppe 5 schon ohne diese zweite Prüfkomponten im doppelten Durchtritt geprüft werden kann. Die Strahlen des Prüfstrahlengangs stehen dann senkrecht auf der letzten, reflektierenden Fläche der Baugruppe 5. Diese Bedingung legt den Prüfstrahlengang in diesem Fall fest. In der Praxis wird dies in vielen Fällen akzeptabel sein, da der Betriebsstrahlengang bei einem Spiegel als letzter Fläche meist nur wenig geneigt zur optischen Achse verlaufen und damit dem oben erwähnten Prüfstrahlengang nabekommen wird.

#### Patentansprüche

1. System zur interferometrischen Messung von op-

tisch wirksamen Fehlern von optischen Baugruppen, insbesondere von Baugruppen in der Halbleiter-Lithographie, mit ersten Prüfkomponenten (1) die vor der zu prüfenden Baugruppe (5) angeordnet sind und die strahlungsseitig mit einem ersten diffraktiven optischen Strahlformungselement (DOE1) versehen sind, und mit wenigstens einer zweiten Prüfkomponente (DOE2), die hinter der zu prüfenden Baugruppe (5) angeordnet ist, wobei die ersten Prüfkomponenten (1) in der nullten Beugungsordnung wenigstens annähernd eine Kugelwelle und in einer von der nullten Beugungsordnung abweichenden Ordnung eine wenigstens annähernd asphärische Welle erzeugen für das diffraktive optische Strahlformungselement (DOE1), und wobei die zweite Prüfkomponente ein optisches Element (DOE2) aufweist, das die auftreffenden Strahlen in sich selbst zurückreflektiert.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Prüfkomponenten (1) refraktive Elemente (1a, 1b, 1c) zur Erzeugung einer Kugelwelle für das erste diffraktive optische Strahlformungselement (DOE1), das als letztes optisches Element vor der zu prüfenden Baugruppe (5) angeordnet ist, aufweisen.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Prüfkomponente einen Plan- oder Kugelspiegel aufweist.

4. System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Prüfkomponente ein diffraktives optisches Strahlformungselement (DOE2) aufweist.

5. System nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite diffraktive optische Strahlformungselement (DOE2) ein Amplituden-DOE ist.

6. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Amplituden-DOE auf Quarzglas oder einem anderen Material mit kleinem thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufgebracht ist.

7. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die refraktiven Teile der ersten Prüfkomponenten (1) aplanatisch ausgeführt sind.

8. System zur interferometrischen Messung von optisch wirksamen Fehlern von optischen Baugruppen, deren letzte Fläche mit einem optischen reflektierenden Element versehen ist und die im doppelten Durchtritt geprüft werden, mit Prüfkomponenten (1), die strahlungsseitig mit einem ersten diffraktiven optischen Strahlformungselement (DOE1) versehen sind, wobei die Prüfkomponenten (1) in der nullten Beugungsordnung des DOE1 wenigstens annähernd eine Kugelwelle und in einer von der nullten Beugungsordnung abweichenden Ordnung des DOE1 eine wenigstens annähernd asphärische Welle erzeugen, und wobei die letzte reflektierende Fläche der Baugruppe (5) die auftreffenden Strahlen in sich selbst zurückreflektiert.

9. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Prüfkomponenten (1) refraktive Elemente (1a, 1b, 1c) zur Erzeugung einer Kugelwelle für das erste diffraktive optische Strahlformungselement (DOE1), das als letztes optisches Element vor der zu prüfenden Baugruppe (5) angeordnet ist, aufweisen.

10. System nach Anspruch 1 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das erste diffraktive optische Strahlformungselement (DOE1) ein Phasen-DOE ist.

11. System nach Anspruch 1 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Strahlbildung ein frequenzstabilisierter Laser (3) verwendet wird, wobei der aktuelle Luftbrechungsindex zur verbesserten Kenntnis der Wellenlänge in Luft gemessen wird.

12. System nach Anspruch 2 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Fehler der refraktiven Elemente (1a, 1b, 1c) durch eine Kalibrierung mit einem absolut vermessenen Kugelspiegel (4) bestimmt und aus dem Meßergebnis eliminiert werden.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

